

安全在线监测预警系统在金山店 铁矿锡冶山尾矿库的应用

刘正强, 罗文斌

(武钢矿业公司金山店铁矿, 湖北 大冶 435116)

摘要: 介绍了武钢矿业公司金山店铁矿在尾矿库应用在线监测系统的情况。经过生产实践表明, 该系统运行稳定可靠, 能够适应长时间实时监测, 各参量的监测精度满足了生产和防洪防汛的需要。

关键词: 安全; 在线监测系统; 尾矿库

中图分类号: TD76 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5014 (2014) 01-0049-08

Application of Safety Online Monitoring and Early Warning System in Xiyeshan Tailings Dam of Jinshandian Iron Mine

LIU Zheng-qiang, LUO Wen-bin

(Jinshandian Iron Mine of Wuhan Iron & Steel Group Minerals
Co., Ltd., Daye 435116, China)

ABSTRACT: This paper introduces the application of the online monitoring system in the tailings dam of Jinshandian Iron Mine of WISCO. The production practices indicate that the system is stable and reliable, and is able to adapt to long-time real-time monitoring. The monitoring precision of the parameters meets the needs of production and flood control and protection.

KEY WORDS: safety; on-line monitoring system; tailings dam

1 前言

武钢矿业公司金山店铁矿的锡冶山尾矿库位于湖北省大冶市金山店镇, 始建于1971年, 由中冶长天国际工程有限责任公司设计, 属三面筑坝的傍山型尾矿库。尾矿库初期坝轴线全

长1775.4 m, 由1#、2#、3#和4#坝组成, 其中3#坝为主坝。初期坝为不透水的粘土坝, 后期坝为尾砂堆积坝, 堆积坝外坡比1:5, 库区汇水面积0.86 km², 防洪标准为500年一遇, 排洪系统采用斜槽—排水管方式, 坝体排渗布设了辐射式排渗井。一期设计最终堆积标高75 m, 设计库容为2150万 m³, 有效库容1560万 m³,

收稿日期: 2013-04-20

作者简介: 刘正强 (1963-), 男, 高级工程师, 主要从事冶金矿山技术管理工作。

属三等尾矿库。自 1976 年投入使用后,到 2010 年底止,尾矿库坝体已堆积至+68 m 高程,总坝长约 2 000 m,已堆积尾砂 1 404 万 m^3 。

锡冶山尾矿库堆积坝采用上游法堆筑,三面均匀放矿,每级子坝顶宽均为 2 m,外边坡为 1:4,边坡每隔 5 m 高差留 5 m 宽的平台。人工修整边坡和铺土护坡,铺土厚度为 0.3 m。坝外坡设置了纵、横向浆砌石、混凝土排水沟。由于该库是在上个世纪 70 年代建设,初期坝为不透水土坝,当时未设排渗设施,坝体浸润线高,至 80 年代末,坝坡普遍渗水。于 90 年代初开始采用辐射井深层自流排渗,并先后共建 21 座辐射井,取得了一定的治理效果。

锡冶山尾矿库先后建有两套排洪系统,即基建时的原排洪系统和 1993 年的新排洪系统。新排洪系统投入使用后,对原排洪系统进行了封堵。现有排洪系统是在尾矿库堆积标高达 45 m 时设计的,排水管为内径 1.2 m 的钢筋混凝土管,双格斜槽为每格底宽 0.8 m 的矩形槽,上部加半圆形拱盖板,均为钢筋混凝土结构,排水斜槽和排水管总长 1 688.8 m。

锡冶山尾矿库为三等库,其初步设计要求设置尾矿坝位移及浸润线观测设施,监测频度为每月一次,汛期相应增加观测次数。位移观测剖面共 15 个,观测点 82 个,浸润线观测剖面共 11 个,观测点 55 个,另外工作基点 4 个,校核基点 3 个,采用单点人工监测。由于现场测量工作量大,数据处理相对滞后,不能完全适应尾矿库安全监测的需要,因此,非常有必要建立系统的在线监测预警系统。

2 锡冶山尾矿库在线监测系统的设计与建设

2.1 由于锡冶山尾矿库为三面筑坝的傍山型库,坝坡岸线长达 2 000 m,在线系统建设所需仪器设备数量多,投入大,建设周期长。依据在线监测系统工程的总体规划,其尾矿库在线监测系统为一次规划,分次建设。

2.1.1 尾矿库监测建设方案中的第一阶段建设内容

1) 在 2[#] 坝 A₆ 断面布置 GPS 位移监测点,整个断面布置 4 个测点,测点位置对应于 A₅₋₁~

A₅₋₄,另外在坝区外的尾矿库管理站设一 GPS 基准参考点;

2) 在 B₇、B₁₃ 断面布置两个浸润线断面, B₇ 断面的测点选择为 B₇₋₁~B₇₋₄, B₁₃ 的测点为 B₁₃₋₁~B₁₃₋₅, 共计 9 个测点;

3) 尾矿库视频测点位置选定在 2[#]、3[#] 坝两端及其中心的坝顶处,另在库斜槽入水口附近区域设置 1 个视频观测点,监测点具体位置为 F0 (水位)、F4、F5、F6,各监测点需架设立杆;

4) 在 2[#]、3[#] 坝顶中心区域设置 1 个干滩监测断面,具体为 G4 测线;

5) 在斜槽附近的岸坡布置 1 水位监测点,采用超声波水位计;

6) 在库区南侧的尾矿库管理站布置一雨量测站;

7) 在坝区尾矿工段设立监测中心机房。

依据《尾矿库安全监测技术规范》^[1]的有关规范和该尾矿库的实际情况,决定在 3[#] 坝增加一渗流量监测点,并在 3[#] 坝 B₁₃ 浸润线监测面附近增加一组内部位移监测剖面,4 孔单点。另外,铺设从监测中心至矿生产科办公楼的光纤线路,与矿局域网连接。

2.1.2 在线监测技术指标

1) 坝体浸润线,渗压计(基康)量程(按 15 m 深)选择 0.35 MPa,灵敏度 0.05%FS (测量精度可达 ± 2 mm),过载能力 50%;

2) 坝体 GPS 位移监测:采用静态测量模式,测量时间 >30 min,水平位移精度 <5 mm \pm 1 ppm,垂直位移精度 <8 mm \pm 1 ppm;

3) 库区水位监测采用超声波水位计,测量精度 < ± 10 mm;

4) 库区降雨量测量强度:0.1 mm~7 mm/min,一次性降雨 ≤ 10 mm,误差 $\leq \pm 0.2$ mm;一次性降雨 >10 mm,误差 $\leq \pm 2\%$ 。

5) 滩顶、面高程测量精度 <5 mm;干滩长度误差 < ± 20 mm;

6) 视频摄像机有效像素 752 \times 582 (V),水平解像度 400TVL,镜头为 22 倍光学、16 倍电子放大,左右旋转范围为 360 度,监测距离 150 m。视频循环录像,可保持 30 天。

在线监测系统由硬件设备和配套应用软件

两部分组成。其中硬件设备主要包括 VNet 系列高精度 GNSS 接收机及天线、电源系统、网络设备、GPS、SRY-1 型容栅式雨量计、超声波物位计、流量计、基康 BGK-4500SR 型振弦式渗压计、BGK6150-2 型测斜仪、视频监控系统、多通道数据采集器、宽协议网络通讯系统等配件，配套应用软件主要包括 ZHDServer 网络数据服务软件、ZMonitor 服务器解算软件、ZHDM 工程管理与监测服务软件、ZHDMonitor 网络发布系统以及 VNet 系列高精度 GNSS 接收机 WEB 管理系统、短信猫报警器。

该系统配置简单，使用方便，支持多个工程同时管理。用户可以在任何一台联网的计算机上远程连接到监测服务器，查看监测数据与日志记录，配置系统运行参数，生成数据统计图表，真正实现随时随地管理工程。

2.2 在线监测系统软件组成及各模块特征

2.2.1 系统软件组成

本系统的软件是由前端和后端两部分组成，共有 6 大模块：

1) 后端组成：NetDataAnalyse 外接设备采集软件、VNetStream 网络数据连接器、ZMonitor 解算软件、视频监控系统软件和短信猫报警器，共五个模块组成；

2) 前端组成：ZHDMonitor 发布系统，它的管理页面为 WEB 页面。

2.2.2 系统软件各模块特征

1) NetDataAnalyse 外接设备采集软件。此软件采用 VISUAL STUDIO 2010 开发，专门用于接收外接设备采集数据、数据解析、数据解算、数据配准以及数据保存工作。雨量计、水位计、流量计、渗压计和倾斜仪等各传感器所采集的数据，经过该软件的处理后发送到监控数据库，以供 WEB 系统调用。

因该软件需要结合串口服务器使用，首先进行串口服务器设置，将串口服务器设置为服务器模式，然后设定相应的串口服务器 IP 和端口即可。

2) VNetStream 网络数据连接器。此软件采用 VISUAL C++6.0 开发，专门用于中转 GPS 原始数据。

此软件是辅助 ZMonitor 软件的网络数据分

发软件，负责接收各基准站和监测站传输的实时二进制数据流，并在 ZMonitor 软件发出请求后分发给 ZMonitor 软件进行解算。

软件需要给所有的 GPS 接收机各开一个端口，等待数据传入。

3) ZMonitor 解算软件。此软件使用采用 VISUAL STUDIO 2010 开发，是一款提供实时单历元高精度变形信息的服务器软件，此软件可长时间实时通过网络接收变形监测项目中所有基准站和监测站的 GPS 原始观测数据，采用先进的卡尔曼滤波器进行数据处理，生成高精度单历元变形信息，并将变形信息实时导入数据库，供分析预警系统调用。该软件专门用于从网络数据连接器获取 GPS 原始数据、高精度解算 GPS 原始数据、保存结果数据，并将处理好的数据发送到监控数据库。

4) 短信猫报警器。本系统基于普通短信猫报警器，使用 VISUAL STUDIO 2010 对其进行了二次开发，该软件的特征是实时自动监测所有设备的结果数据，判断是否报警、并作出报警动作（短信报警）。

此软件需要与 ZHDMonitor 结合起来使用，服务器上需要配备 ZHDMonitor 系统以及相关数据库才可以使用。

5) 视频监控系统。此软件监控系统是由摄像、传输、控制、显示、记录登记 5 大部分组成。视频摄像头将采集到的视频信息发送到视频服务器，监控数据库可以实时读取视频服务器中的数据，以供 WEB 页面实时调用。

WEB 页面所显示的视频界面如图 1 所示。



图 1 WEB 页面的视频界面

6) ZHDMonitor 发布系统。此软件由 VISUAL STUDIO 2010 开发而成, 前端界面设计使用 Silverlight 银光技术 (包括 IE 浏览器上所有呈现的页面内容), 后端采用 WCF 服务技术, 主要用于数据库的访问操作、对读出的数据作一些分析操作、为前端提供以上操作的接口, 使前端与数据库进行交互。

通过在 IE 浏览器输入 ZHDMonitor 发布系统的 IP 地址, 进入 ZHDMonitor 发布系统的登陆页面。通过用户名和密码进入到 ZHDMonitor 发布系统的管理页面。用户的权限分为两种形式, 一种是普通权限用户, 另一种是管理员权限用户。

成功登陆后, 进入到 ZHDMonitor 发布系统的主页面如图 2 所示。

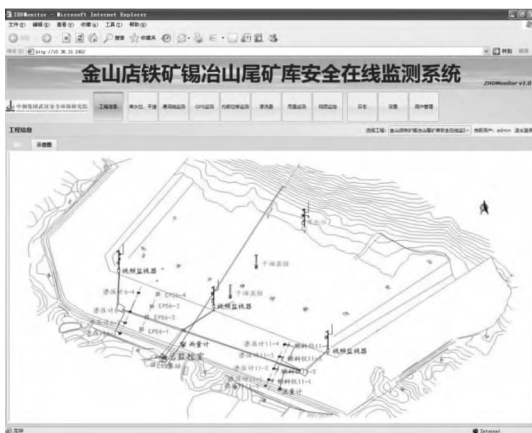


图 2 ZHDMonitor 发布系统主界面

2.3 系统软件体系架构及特点

系统软件组成架构有 C/S 和 B/S 两种架构组成。

2.3.1 C/S 架构

本系统的后端系统架构采用的就是 C/S 架构模式, C/S (Client/Server, 客户机/服务器) 模式又称 C/S 结构, 是软件系统体系结构的一种。C/S 结构的关键在于功能的分布, 一些功能放在前端机 (即客户机) 上执行, 另一些功能放在后端机 (即服务器) 上执行。具有的优点是客户端实现与服务器的直接相连, 没有中间环节, 因此响应速度快。如图 3 所示, 所涉及到的部件有下面几部分:

1) 硬件采集: 是指所有外接硬件设备的采集。硬件部分包括: 对 GPS 原始数据采集;

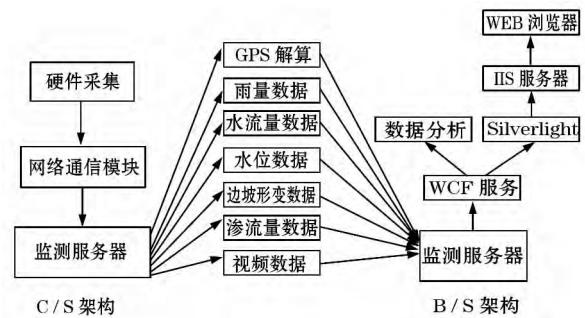


图 3 软件系统架构

流量计对尾矿库的水流量数据的采集; 雨量计对雨量数据的采集; 水位计对库水位数据采集; 渗压计和倾斜仪对其数据的采集和摄像头对视频信息数据的采集。

2) 网络通讯模块: 是指硬件采集到的数据传输到服务中心的模块, 本系统所使用的方式有光纤、GPRS、3G、无线网桥等通讯方式。

3) 监测服务器: 监测服务器主要是指服务器中心部署的软件系统, 有 NetDataAnalyse 外接设备采集软件和 ZMonitor 解算软件。

a) NetDataAnalyse 外接设备采集软件: 外接设备通过网络传输到监测服务器上面, 监测服务器上的 NetDataAnalyse 外接设备采集软件就会相应工作, 并使图 3 中的“雨量数据、水流量数据、边坡形变数据、水位数据、渗流量数据、视频数据”保存到监测数据库中;

b) ZMonitor 解算软件: GPS 原始数据通过网络传输到监测服务器上面, 监测服务器上的 ZMonitor 解算软件就会相应工作, 并使“GPS 解算数据”保存到监测数据库中。

4) GPS 解算: 主要是通过 ZMonitor 解算软件进行解算。

5) 监测数据库: 主要是保存外接设备和 GPS 解算后的最终结果, 这些结果将会以图形界面的形式显示给前端用户浏览查看 (支持 SQL 系列数据库)。

2.3.2 B/S 架构

本系统所采用的前端 WEB 显示系统是 B/S 架构模式, B/S 结构 (Browser/Server 结构) 结构即浏览器和服务器结构。在这种结构下, 用户工作界面是通过 WWW 浏览器来实现, 极少部分事务逻辑在前端 (Browser) 实现。如图 3

所示，所涉及到的部件有下面几部分：

1) WEB 浏览器：是指前端界面的显示。客户以 IE 浏览器的形式进行访问，以图形界面的形式进行展示，供查看所有监测设备的数据。

2) IIS 服务器：本系统将整个 ZHDMonitor 发布系统部署到 IIS 上，这样 WEB 浏览器才进行访问，主要是前端界面模块，即上图 3 显示的 SILVERLIGHT 软件，是部署挂在 IIS 之下的软件。

3) Silverlight：ZHDMonitor 发布系统的前端界面，是采用 Silverlight 技术进行开发的。Silverlight 能创建一种具有很高艺术性的应用程序，是一种跨浏览器、跨平台的技术。具有能在所有流行的浏览器中运行的特点。

4) WCF 服务：ZHDMonitor 发布系统的后端服务是采用 WCF 技术进行研发的。WCF 服务除了给前端 Silverlight 提供必要的访问数据库接口，还有简单的“数据分析”功能。

5) 监测数据库：主要通过 WCF 进行访问，给前端提供结果数据。

2.4 实现的技术路线

2.4.1 GPS 工作技术路线

GPS 监测站监测到的原始数据发送到 VNetStream 网络数据连接器，VNetStream 专门用于中转 GPS 原始数据，负责接收各基准站和监测站传输的实时二进制数据流，并在 ZMonitor 解算软件发出请求后分发给 ZMonitor 解算软件，ZMonitor 解算软件将解算好的数据发送给监测数据库，以供前端 WEB 页面调用。

2.4.2 其他传感器工作技术路线

其他传感器包括雨量计、水位计、流量计、渗压计、倾斜仪 5 种设备。采集的数据主要通过 NetDataAnalyse 外接设备采集软件（专门用于接收外接设备采集数据、数据解析、数据解算、数据配准以及数据保存工作），将处理好的数据发送到监测数据库，以供前台 WEB 页面调用。

为实现上述功能，需要安装和配置 IIS 网络服务器、SQL Server 数据库系统以及监测服务器软件包。

图 4 为工程系统整体数据结构框架图。

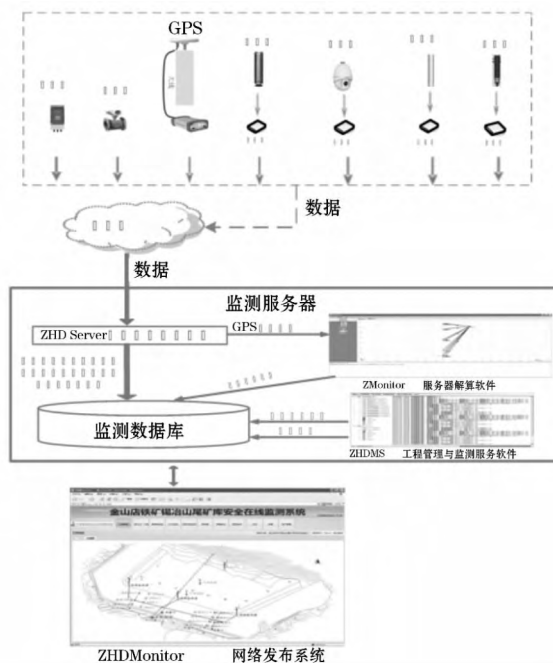


图 4 工程系统整体数据结构框架

3 在线监测系统试运行情况

3.1 在线监测系统的数据传输由 4 部分构成，分别是现场采集数据流、传输数据流、监控数据流、显示与报警流。

系统总体以网络化方式运行，尾矿库在线监控系统构成独立的局域网，通过网络实现远程监控。各个监测点配备网络 IP 地址，其采集的数据通过无线/有线通道传至接入层交换机，并通过光纤上传至矿监控中心，通过服务器及相应监控、处理软件的控制、计算，实现监测数据的存储、分析，显示，当监测数据达到设定的预警水平后进行预警，监控中心设置监控服务器、视频服务器和相应的显示设备、预警短信平台等。此外，根据需要还可以设置客户端监控，依其权限可查看尾矿库监测情况。整体布置如图 5 所示。

3.2 试运行期各模块运行结果

3.2.1 库水位干滩监测

库水位采用超声波水位计测量。其原理是利用所发射的脉冲超声波经液体表面反射后被同一传感器接收的时间计算液面高程，水位计布置在斜槽入水口附近。

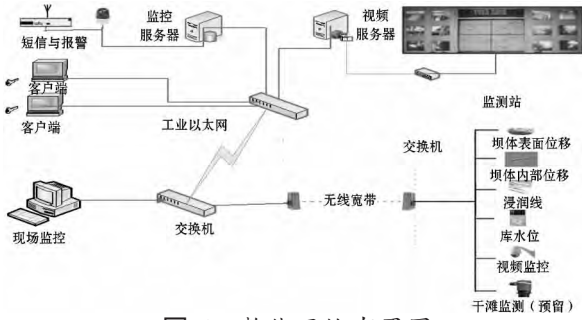


图5 整体网络布置图

干滩监测主要是在尾矿库放矿滩面、垂直于坝轴线的测量断面上，通过测量滩顶高程和某一距离（如 70 m）处的高程，然后计算滩面坡度，并通过库水位计算出干滩长度（见图 6）。干滩高程及滩面中间高程采用超声波测量法进行监测。即在设定的监测点埋设立杆，安装超声波物位计，通过测量物位计距地面的高度来计算干滩高程。

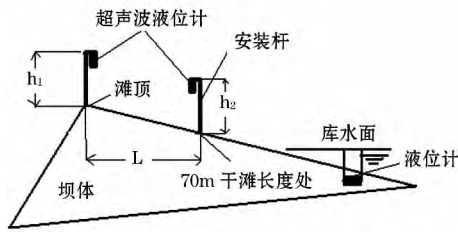


图6 尾矿库干滩测量示意图

整个数据图如库水位和干滩整体数据折线图（图 7）、当月折线图、当月数据图、当周折线图、当周数据图等，均以折线图的形式输出显示。

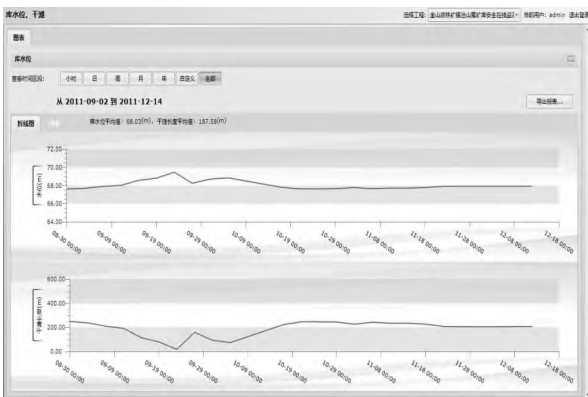


图7 库水位、干滩整体数据折线图

图 7 为系统试运行整个期间库水位和干滩整体数据的折线图，显示水位值基本在 67~68 m，干滩值基本在 200 m 上下，跟实际人工测量值完全吻合。

通过随机抽出各个月、星期、日、小时数据与现场情况对比，测试数据符合现场实际情况。

3.2.2 浸润线监测

在每个监测断面根据尾矿库浸润线状况，在各个钻孔中布置套管，并在管壁预设的高度预制渗流段，并在相应的高度布置孔隙水压力计（渗压计），测量坝体内孔隙水压力的分布情况，掌握其坝体渗透状况。浸润线是通过孔隙水压力计测量其水头压力，间接测量其浸润线高度。绘制成形象的平面图以显示各个仪器安装位置的浸润线高度。

图 8 (a) 为 11 号剖面线浸润线实测图，是结合实测地形数据实时绘制的平面图。图 8 (b)、(c)、(d) 为各点的详细折线图。

通过现场调试，对比每个点的月、周、日数据，均符合现场实际测量值。

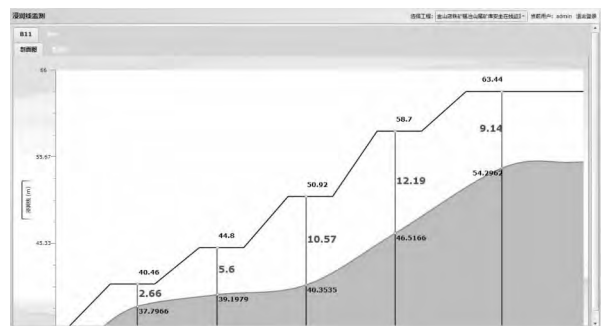


图8 (a) B11 剖面图

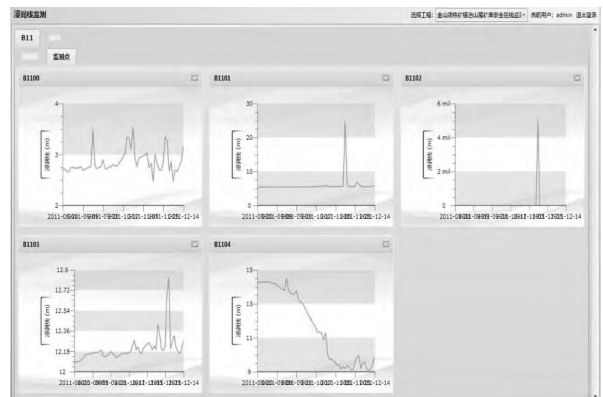


图8 (b) 浸润线 B11 整体折线图

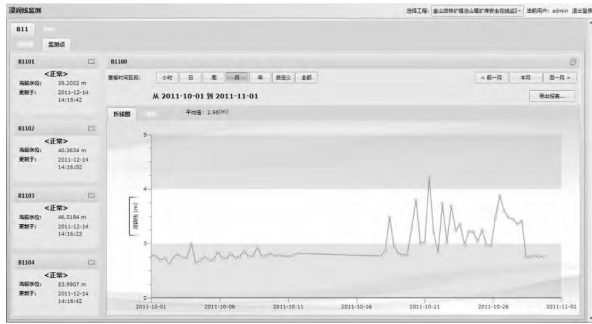


图 8 (c) 当月 B1100 点折线图

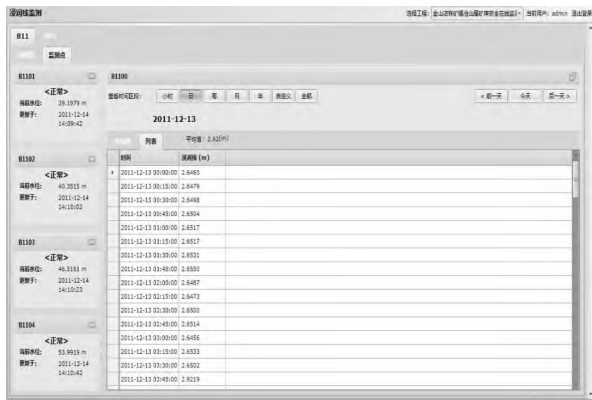


图 8 (d) 当月 B1100 点数据图

3.2.3 GPS 表面位移测量

表面位移监测在设定的代表性监测断面（垂直坝轴线）布置一组（4~5个）监测点，在每一基准点和监测点上，都修建 GPS 观测墩，且设有强制对中装置，安装 GPS 天线，在断面的中间位置放置 1 台 GPS 接收机及转换控制器等，利用 1 台 GPS 接收机及附属设备实现一个监测断面的位移测量，其它断面以此类推，另外在库区外稳定的区域（现场管理站）布置了一个参考基点，形成自动监测位移系统，GPS 同时监测水平和垂直位移。

通过与实际 GPS 自带的软件系统对比，卫星状态显示正常，监测数据吻合，现场情况正常。

3.2.4 内部位移监测

钻孔的布置与表面位移测点相对应，垂直于坝轴线布置监测断面，在坝体布设钻孔至坝基，并安装好具有导轨的倾斜管，使其与坝体紧密接触，测量时沿管路逐段多点量测变形。采用自动监测时，多个倾斜仪固定于设定的若干区段进行测量。主要测量 X 方向和 Y 方向数据偏移状况。

3.2.5 渗流量

渗流量监测对排渗出水口使用管式电磁流量计，监测当前流量和历史流量。当前设备可以实时显示瞬间流量和瞬间流速。

3.2.6 雨量监测

雨量计全部数据图与日数据图显示的峰值数据，与实际下雨测量值与实际情况相符。

3.2.7 调洪演算

为了动态掌握尾矿库调洪状况，本程序根据锡冶山尾矿库实际的排洪系统，增加了调洪演算模块，计算分析水位增幅以及分析库水位变化情况。程序利用与现有系统匹配的一些输入项和特定的公式进行计算，计算过程在后台完成。

程序现场输入实际参数后，演算结果与实际结果一致。

3.2.8 短信报警

短信报警功能，将库水位、干滩、浸润线、GPS 监测、内部位移、渗流量、雨量数据根据坝体实际情况，统一分级报警。一旦触发所设置的界限值，系统将自动按预设时间间隔发送短信给相关人员进行报警提醒，具体的预警参量根据坝体运行实际情况而定，人员名单及手机号码可根据需要进行修改。短信报警主界面如图 9 所示。



图 9 短信报警主界面

3.2.9 视频监控

系统共设置 3 个坝体视频监控点，1 个库水位视频监控点。视频监控界面如图 10 所示。



图 10 视频全图

4 结 语

1) 金山店铁矿锡冶山尾矿库在线安全监测系统通过 1 年的运行结果表明, 系统运行稳定

可靠, 能够适应长时间实时监测; 测值数据稳定, 误差处于允许范围内, 各参量的监测精度满足了生产和防洪防汛的需要。

2) 该系统使用先进成熟的技术设备, 建立了网络化的监控架构, 实现了远程监控。系统操作简单, 集成度高, 界面友好, 满足实时采集、监控预警的需求, 能适应高速的数据传输。

3) 尾矿库在线安全监测系统的技术先进, 运行可靠; 同时系统配置具有良好的可扩展性, 能满足未来监控网络发展和技术升级的需要。

4) 在线安全监测预警系统融合了自动化监测技术和数据处理分析技术, 有效地提高了监测数据的质量和时效性, 可以及时了解尾矿库安全特征的变化情况, 并可依据其变化做出预测预警, 提高尾矿库安全应急处置能力, 全面提升尾矿库安全管理水平和尾矿库本质化安全水平。

参考文献:

[1] AQ2030-2010. 尾矿库安全监测技术规范[S].

(上接第 48 页)

制策略从实验室的在线模拟向工业现场应用, 缩小工业现场控制效果与实验室在线模拟的差距。

参考文献:

- [1] 王丰雨, 张覃, 黄宋魏. 我国选矿自动化评述[J]. 国外金属矿选矿, 2006 (8): 18-22.
- [2] 肖睿, 孟宪慧, 范素月, 等. 简述自动控制在选矿中的应用与研究[J]. 科技资讯, 2012(11): 93.
- [3] 曾云南. 现代选矿过程粒度在线分析仪的研究进展[J]. 有色设备, 2008 (4): 5-10.
- [4] 汤健, 赵立杰, 岳恒, 等. 磨机负荷检测方法研究综述[J]. 控制工程, 2010 (9): 565-570
- [5] 王泽红, 陈炳辰. 磨矿分级过程控制策略的研究及进展[J]. 金属矿山, 2000 (9): 28-31.
- [6] 顾善发, 徐萍. 预测控制算法在磨矿分级中的应用[J]. 工矿自动化, 2003 (5): 21-23.

- [7] 董飞, 陈夕松, 金郑华. 一种实用的磨矿多模型预测控制策略研究[J]. 工业控制计算机, 2008 (2): 16-17.
- [8] 罗小燕, 林和荣. 预磨机模糊控制系统的设计与试验[J]. 金属矿山, 2012 (8): 118-122.
- [9] 唐耀庚, 胡蓉. 一种铀矿石自磨机拖动功率模糊控制系统[J]. 矿山机械, 2002 (4): 25-26.
- [10] 周平, 柴天佑. 基于案例推理的磨矿分级系统智能设定控制[J]. 东北大学学报, 2007 (5): 613-616
- [11] 向波. 基于案例推理软测量的磨矿分级过程先进控制[J]. 金属矿山, 2009 (12): 110-113.
- [12] 任金霞. 改进型单神经元自适应 PID 控制在磨矿分级控制中的应用 [J]. 有色金属 (选矿部分), 2005 (2): 32-34.
- [13] 王会青, 张守元. 预测模糊控制在磨矿分级过程的应用研究[J]. 矿冶工程, 2002 (9): 60-62.